Vol.12, No.4, Winter 2024, pp.233-251 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2023.80563.1326 Open access

Determining the Natural Frequency of Behbahan City Soil Using Microtremor Data Analysis

Sasan Motaghed [a*], Amin Nakhlian [b], Lotfolla Emadali [a], Nasrollah Eftekhari [c], Heshmatalla Mahmoudian [d]

[a] *Assistant Professor in Civil Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran*
[b] *MSc in Structural Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran*
[c] *Assistant Professor in Civil Engineering, Yasouj University, Choram, Iran*
[d] *MSc in Geography, Center of monitoring Assessment and Prediction of Natural Disasters (MAP), Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran*

Received: 11 January 2023 Revised: 15 February 2023 Accepted: 16 March 2023

Abstract

Soil deformation can have a major impact on the seismic design inputs of structures. In practice, the soil is always bounded by rocks. In this case, the phenomenon of resonance or beating due to the closeness of the frequency of the structure to the natural frequency of the soil can be very destructive. For this reason, the natural frequency of the soil is considered in the construction regulations in presenting the spectral shape. To determine the natural frequency of soil in Behbahan city, the H/V method based on non-destructive measurement of ambient noise, which is a inexpensive and successful method for evaluating soil properties, was used. After recording microtremor data in 69 stations, H/V analysis was done to estimate the resonance frequency at the points. Then, natural frequency maps of the soil were presented. The results showed that the natural frequency range of soil in Behbahan city is between 0.57 and 5.42 Hz. Therefore, this soil is included in soil types 2 and 3 (standard No. 2800). Moreover, based on the construction information, a resonance-prone areas map was provided. In the central areas, the soil type is mainly type 3. Most of the buildings in this area are low codes, so it requires more precision in future developments. In the northwest and southeast of the city, the period of soil resonance is more than one second; therefore, in the construction of tall buildings in these areas, more strict measures should be taken into account to control the structures.

Keywords: GIS, Local Site Effects, Soil Type, Resonance, H/V Analysis

---

*.Corresponding author: Sasan Motaghed Email: motaghed@bkatu.ac.ir Tel:+989166714358

How to cite this Article: Motaghed, S., Nakhlian, A., Emadali, L., Eftekhari, N., & Mmahmudian, H. (2024). Determining the natural frequency of Behbahan city soil using microtremor data analysis. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(4),233-251.
DOI:10.22067/geoeh.2023.80563.1326

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 4 - Number 48, Winter 2024
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.80563.1326

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۲۵۱-۲۳۳
مقاله پژوهشی

تعیین فرکانس طبیعی خاک شهر بهبهان با استفاده از تحلیل داده‌های میکروترمور

ساسان معتقد[1] -استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
امین نخلیان- کارشناس ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
لطف‌الله عمادعلی- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
نصراله افتخاری- استادیار، دانشکده صنعت و معدن چرام، دانشگاه یاسوج، چرام، ایران
حشمت اله محمودیان- کارشناس ارشد جغرافیا، مرکز پایش، ارزیابی و پیش‌بینی بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

چکیده

تغییر شکل خاک می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر ورودی‌های طراحی لرزه‌ای سازه‌ها داشته باشد. در عمل، خاک اغلب توسط سنگ‌های پیرامونی احاطه شده است. در این حالت، وقوع پدیده تشدید یا تشدید لحظه‌ای به دلیل نزدیک بودن فرکانس سازه به فرکانس طبیعی خاک، می‌تواند اثرات مخربی داشته باشد. ازاین‌رو، فرکانس طبیعی خاک در آیین‌نامه‌های ساختمانی در ارائه شکل طیف موردتوجه است. در این مقاله، از روش H/V بر پایه اندازه‌گیری غیر مخرب نوفه‌های محیطی برای تعیین فرکانس طبیعی خاک شهر بهبهان استفاده شده است. این روش روشی ارزان و موفق برای ارزیابی خصوصیات خاک است. بعد از ثبت داده‌های میکروترمور در ۶۹ ایستگاه، تحلیل H/V برای برآورد فرکانس تشدید نقاط برداشت شده انجام گردید. سپس نقشه‌های فرکانس طبیعی خاک ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد محدوده فرکانس طبیعی خاک در شهر بهبهان در بازه ۰/۵۷ تا ۵/۴۲ هرتز است. این نوع خاک در محدوده خاک نوع ۲ و ۳

[1] نویسنده مسئول:۰۹۱۶۶۷۱۴۳۵۸ Email: motaghed@bkatu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

معتقد، ساسان؛ نخلیان، امین؛ عمادعلی، لطف الله؛ افتخاری، نصرالله؛ محمودیان، حشمت الله. (۱۴۰۲). تعیین فرکانس طبیعی خاک شهر بهبهان با استفاده از تحلیل داده‌های میکروترمور. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۴). صص ۲۵۱-۲۳۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.80563.1326

(استاندارد ۲۸۰۰) قرار می‌گیرد. همچنین بر اساس اطلاعات ساخت‌وساز در پهنه شهر بهبهان، نقشه مناطق مستعد تشدید ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: سیستم اطلاعات جغرافیایی، اثرات محلی ساختگاه، نوع خاک، تشدید، تحلیل H/V.

۱- مقدمه

اثرات محلی پارامترهای زمین‌شناسی بر لرزش زمین، پارامتر مهمی در مهندسی زلزله است (محمدیان، ۱۳۹۹). اولین بار، محققین ژاپنی رابطه‌ای در حوزه فرکانس برای نسبت حرکت سطح به موج فرودی با فرض مانایی امواج برشی عمودی SH ارائه کردند (سزاوا[1]، ۱۹۳۰؛ کانای[2]،۱۹۵۷). آن‌ها با فرض رفتار ویسکو الاستیک، پریودهای طبیعی خاک (T_n) را برای یک و دو لایه افقی با سرعت ثابت ارائه کردند:

$$T_n = \frac{4H}{V_s(2n-1)} \qquad (1)$$

در این رابطه، n نشان دهنده مد ارتعاش، H عمق خاک و V_s سرعت موج برشی در خاک است. به‌این‌ترتیب، طیف‌های فوریه زلزله، قله‌هایی در فرکانس‌های طبیعی خاک دارند که معمولاً درنتیجه بزرگ‌نمایی امواج برشی ملنا توسط خاک است.

در ۱۹ سپتامبر ۱۹۸۵، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای $M_S = 8.1$ مکزیک را لرزاند. مرکز آن زلزله در اقیانوس آرام در نزدیکی ایالت میچوآکان قرار داشت. این زلزله در ٤۰۰ کیلومتر دورتر از مرکز و در شهر مکزیکوسیتی، باعث بروز خسارات بسیاری گردیده و باعث فرو ریختن ساختمان‌های مرتفع مدرن گردید (رزنبلوث و ملی[3]، ۱۹۸٦). این در حالی است که در فواصل نزدیک‌تر به مرکز زلزله، حجم خسارات قابل‌توجه نبود. بررسی اثرات این زلزله نشان داد که در طراحی لرزه‌ای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، تغییر شکل خاک باید در نظر گرفته شود؛ زیرا در مواردی که خاک مستعد تشدید است، این امر به‌طور قابل‌توجهی بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها تأثیر می‌گذارد (پاپ و کولار[4]، ۲۰۱۸). مطالعات عددی نشان می‌دهد که نادیده گرفتن پدیده تشدید، ممکن است به‌طور قابل‌توجهی پاسخ‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. روش‌های طراحی لرزه‌ای موجود -که اطلاعات شتاب‌نگاشت‌های حرکت نیرومند زمین را شامل می‌شوند- به‌ندرت می‌توانند تفاوت‌های بین اندازه‌گیری‌های شتاب‌نگاری و پیش‌بینی‌های نظری را که معمولاً ناشی از تأثیر شرایط محلی خاک است، در نظر بگیرند (پاپ و کولار، ۲۰۱۸).

به‌طورکلی، پاسخ ساختگاه را می‌توان از رکوردهای ابزاری با حذف اثرات منبع و مسیر از سری‌های زمانی ثبت شده برآورد نمود، با این فرض که اثرات مسیر برای رکوردهای روی سنگ بستر و روی خاک سطح مجاور یکسان

1 Sezawa
2 Kanai
3 Rosenblueth and Meli
4 Pap and Kollár

است (صـفاری و همکاران،۱۴۰۱). هنگامی‌که رکورد حرکت زمین در سـنگ بسـتر در دسـترس نباشـد، می‌توان از تکنیک‌های ساده‌سازی‌شده که فقط به رکوردهایی در لایه‌های بالایی نیاز دارد، استفاده کرد.

در این زمینه پرکاربردترین روش‌ها، روش سـاختگاه مرجع[۱] (بورچرت[۲]، ۱۹۷۰) و تکنیک تابع گیرنده[۳] لرزه‌ای (لرمو و چاوز گارسیا[٤]، ۱۹۹٤؛ لانگستن[٥]، ۱۹۷۷). بر اساس مقادیر نسبت طیفی هستند. این روش‌ها را می‌توان برای انواع مختلف داده‌ها ازجمله اندازه‌گیری‌های میکروترمور[٦]، رکوردهای لرزه‌ای ضعیف[۷] یا شتاب‌نگاشت‌های حرکت نیرومند زمین[۸] اسـتفاده کرد. اخیراً، تحلیل‌های نوفه[۹] به دلیل ارزان بودن و قابلیت اجرای سـریع در مناطق وسـیع به روشـی بسـیار جذاب در مطالعات ریزپهنه‌بندی تبدیل شـده‌اند. به‌منظور برآورد پاسـخ‌های سـاختگاه، در مطالعات مختلف رکورد نوفه به پنج روش استفاده شـده اسـت: (۱) طیف مطلق[۱۰]، (۲) نسبت طیفی مبتنی بر ساختگاه مرجع[۱۱] (لرمو و چاوز گارسـیا[۱۲]، ۱۹۹٤)، (۳) نسـبت H/V (ناکامورا[۱۳]، ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰؛ گاواسـه و همکاران[۱٤]، ۲۰۱۹)، (٤) وارونگی سـاختار سـرعت از طریق رکوردهای آرایه و (٥) تحلیل فاز اتوکورلوگرام یک طرفه مؤلفه‌های افقی[۱٥] (تکنیک روش طیفی فاز فوریه (FPSM) (پاپ و کولار[۱٦]، ۲۰۱۸).

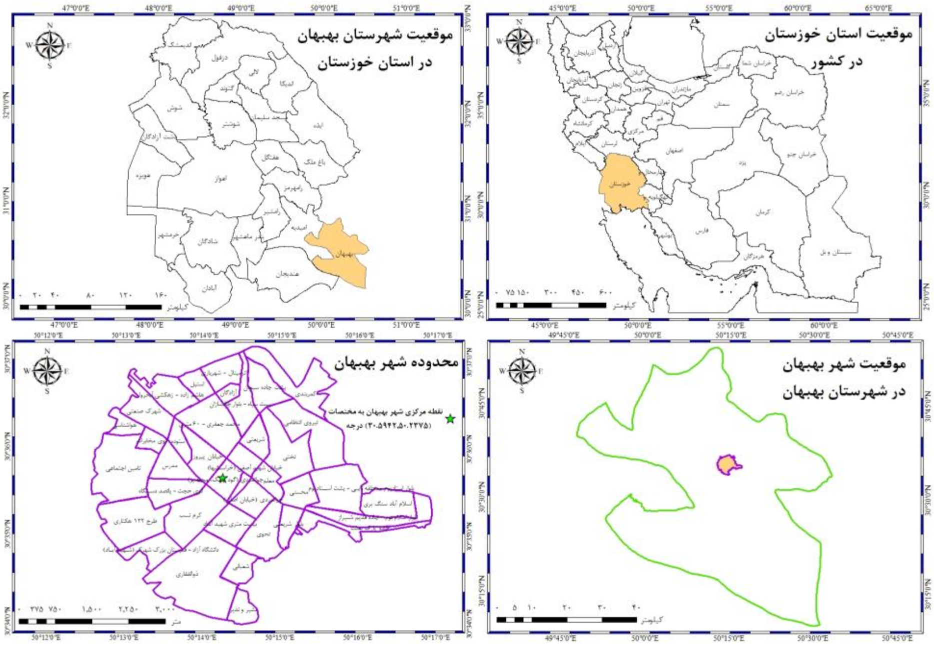
در ایران، مسـئله تعیین فرکانس طبیعی خاک موردتوجه محققین بسـیاری بوده اسـت. در این زمینه، ادیب (۱۳۹٥) طبقه‌بندی سـاختگاه بر مبنای فرکانس طبیعی را با اسـتفاده از داده‌های لرزه‌ای برای شـهر اردکان انجام داد. البته بیشـتر تحقیقات بر استفاده از رکوردهای بالای لایه متمرکز بوده است. به‌عنوان‌مثال، فلاحی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از اندازه‌گیری‌های میکروترمور، فرکانس غالب و طبقه‌بندی سـاختگاه را در شـمال غرب ایران گزارش کردند. کمک پناه و همکاران[۱۷] (۲۰۰۲) اثرات سـاختگاهی را در شـرق ایران طبقه‌بندی نمودند. حکیمی و همکاران (۱۳۹۷) اندازه‌گیری میکروترمور را برای تعیین فرکانس طبیعی خاک شـــهر زنجان مورداســـتفاده قرار دادند. لامعی و همکاران (۱۳۹٤) مشخصات خاک را برای کرمانشاه ارائه داده‌اند.

1 reference site method
2 Borcherdt
3 receiver function technique
4 Lermo and Chávez-García
5 Langston
6 microtremor
7 weak seismicity recordings
8 strong motion accelerograms
9 noise
10 absolute spectra
11 spectral ratio with respect to a reference site
12 Lermo, & Chávez-García
13 Nakamura
14 Kawase et al.
15 analysing the phase of the one-sided autocorrelogram of the horizontal component
16 Pap and Kollár
17 Komak Panah et al.

توســـعه فرآیند تعیین فرکانس طبیعی خاک در کل پهنه ســـرزمینی می‌تولند به ارائه نقشـــه جامع فرکانس در آیین‌نامه‌های ســـاختمانی و لرزه‌ای (مانند اســـتلندارد ۲۸۰۰) کمک کرده و نقش مؤثری را در طراحی بهینه لرزه‌ای ســـازه‌ها ایفا نماید (محمدیان، ۱۳۹۹). در این تحقیق، بر اســـاس برداشـــت جامع میکروترمور منطقه لرزه‌خیز بهبهان، فرکانس طبیعی خاک با اســـتفاده از روش ناکامورا محاســـبه شـــده اســـت. برای این منظور، از داده‌های میکروترمور اندازه‌گیری شده در تعداد ٦۹ ایستگاه در سطح شهر استفاده شده است. علاوه بر این، به‌منظور صحت سنجی نتایج، اطلاعات یک گمانه ژئوتکنیک در سطح شهر با نتایج به دست آمده از تحلیل مقایسه شده است.

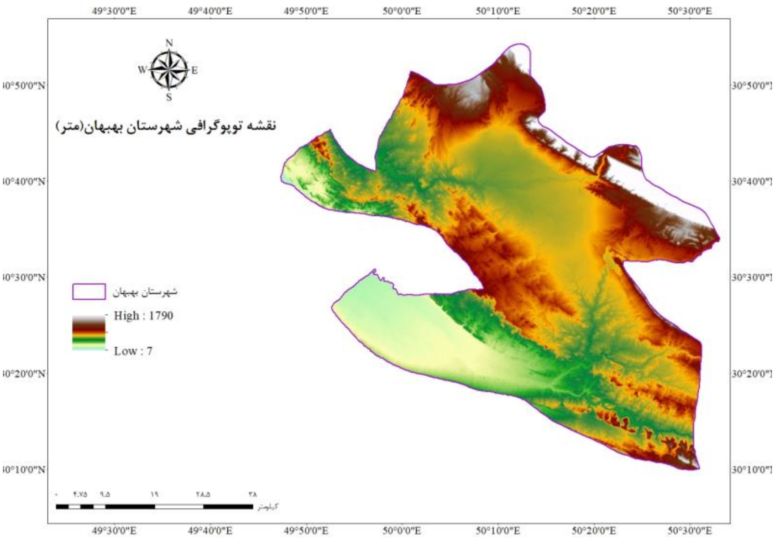
۲- منطقه موردمطالعه

شـهرسـتان بهبهان در جنوب شـرقی اسـتان خوزسـتان و در فاصـله ۲۰۰ کیلومتری از مرکز اسـتان در دامنه جنوبی رشـته‌کوه‌های زاگرس بین دو منطقه نفتون آغاجری و گچسـاران قرار گرفته اسـت. این شـهرسـتان در طول جغرافیایی '16 °50 شرقی و عرض جغرافیایی '35 °30 شمالی در ارتفاع متوسط ۳۲۰ متری از سطح مبنای ارتفاعی (MSL) واقع شـده اسـت. بر اسـاس سـرشـماری سـال ۱۳۹۵، جمعیت شـهر بهبهان ۱۲۲٦۰٤ نفر برآورد شـده اسـت. وسـعت منطقه شهری بهبهان، ۲۲/۳ کیلومترمربع است. شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی بهبهان

شکل ۲ نقشه توپوگرافی شهر بهبهان را نشان می‌دهد. نقشه پروفیل شیب زمین منطقه موردمطالعه، نشان دهنده تغییرات شیب زمین در جهت جنوب غربی به شمال شرقی (جهت حرکت صفحات تکتونیکی در منطقه) است.



شکل ۲- نقشه تغییرات ارتفاعی شهرستان بهبهان

در شمال دشت بهبهان بخشی از رشته‌کوه زاگرس به نام کوه خاییز قرار دارد. ارتفاع بلندترین نقاط در این قسمت، ۱۶۸۵ متر بر فراز تنگ شیخ و ۲۱۰۰ متر در کوه حاتم است. در جنوب دشت بهبهان، کوه‌های پازنان و دریز کوه با حداکثر ارتفاع ۶۰۰ متر، در غرب کوه ورزرد با ارتفاع ۷۸۵ متر و در شرق کوه رمه چر با حداکثر ارتفاع ۷۰۰ متر واقع شده است. غالب سازندهای تشکیل دهنده قسمت کوهستانی مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی و قسمت دشت مربوط به دوران کواترنری یا دوره چهارم زمین‌شناسی است. دو رودخانه پر آب مارون و خیرآباد از نزدیکی این شهر عبور می‌کنند. در این شهر سه سد، دو پالایشگاه گاز، دو نیروگاه برق و یک کارخانه سیمان قرار دارد. اشیاء به دست آمده در کشفیات باستان‌شناسی شهر قدیمی بهبهان (ارجان) قدمتی در حد هزاره دوم پیش از میلاد مسیح دارند.

ارجان شهری بزرگ و پر رونق با باغ و بوستان‌های بسیار بوده است که به‌تدریج رو به ویرانی می‌رود. عوامل متعددی در ویرانی ارجان و رکود آن مؤثر بودەلند که مهم‌ترین آن‌ها وقوع زلزله‌های پی‌درپی قرن پنجم هجری قمری در سال‌های ۴۴۵ و ۴۷۸ هجری قمری است. این زلزله‌ها موجب شکسته شدن سد ارجان و مختل شدن امور زراعی و کشاورزی و تخریب دیوار دفاعی شهر شد. به دنبال حوادث مذکور، آبادی بهبهان که به فاصله کمی (حدود ۸

کیلومتر) از ارجان قرار داشت به‌تدریج پذیرای مردم ارجان گردید و سرانجام در قرن هشتم هجری قمری جایگزین ارجان شد.

لرزه‌خیزی ایران به‌طور عمده ناشی از همگرایی صفحات اوراسیا و عربستان است. زعفرانی و همکاران[1] (۲۰۱۵) با اصلاح منطقه بندی لرزه‌ای نوروزی[2](۱۹۷٦) که در آن ایران را به ۲۳ منطقه تقسیم کرده بود، ایران را به ۱۵ ایالت لرزه‌خیز تقسیم کردند. بر اساس این تقسیم‌بندی، بهبهان در ایالت شماره ۵ (یعنی ایالت زاگرس) قرار دارد. در این ایالت، نرخ لرزه‌خیزی ٦٧٤٧، مقدار b برابر با ۰/۸۹ و حداکثر بزرگای زلزله ۷/۳ (بر حسب بزرگای گشتاوری) است. ایالت زاگرس، لرزه‌خیزی بسیار بالایی داشته و زلزله‌خیزترین منطقهٔ ایران است. بیش از ۵۰ درصد کل زلزله‌های ایران در گسترهٔ زاگرس روی داده است (میرزایی و همکاران[3]، ۱۹۸۸). متوسط ضخامت پوسته در محدوده راندگی زاگرس برابر ۵۰ کیلومتر است. ضخامت به سوی جنوب غرب به‌تدریج افزایش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در زاگرس مرتفع (حاشیهٔ شمال شرقی زاگرس) این ضخامت برابر ۵۵ کیلومتر یا بیشتر است. از طرف دیگر، در شمال خلیج‌فارس و در تپه‌ماهورهای زاگرس (مانند شهر بهبهان) مقداران ضخامت به حدود ۳۵ کیلومتر می‌رسد (بربریان[4]، ۱۹۸۱). بر اساس ویرایش چهارم آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران) بهبهان در منطقه خطر نسبی زیاد واقع شده است، بنابراین شتاب پایه ۰/۳g برای این منطقه توصیه شده است. با این توضیحات و شواهد، مشخص می‌شود که شهر بهبهان در منطقه‌ای با پتانسیل رخداد زلزله‌های خسارت‌بار قرار دارد. به همین جهت، انجام مطالعات شرایط محلی خاک ساختگاه در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

۳- روش‌شناسی

تکنیک بدون ساختگاه مرجع[5]، که به نسبت طیفی مؤلفه‌های افقی و عمودی (H/V) سیگنال ثبت شده در سطح زمین نیاز دارد، به‌طور گسترده‌ای در تعیین پاسخ‌های ساختگاه استفاده شده است (غفران و اتکینسون[6]؛ نتایج نشان می‌دهد که این تکنیک تخمین قابل‌اعتمادی از فرکانس‌های اصلی تشدید رسوبات نرم ارائه می‌دهد. بااین‌وجود، این روش اطلاعات مربوط به هارمونیک‌های بالاتر را ارائه نمی‌کند و ضرایب بزرگ‌نمایی به‌دست‌آمده عموماً کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده با تکنیک‌های دیگر است (بیندی و همکاران[7]، ۲۰۰۰؛ ثابت[8]، ۲۰۱۹؛ واسلو و همکاران[9]،

1 Zafarani et al.
2 nowroozi
3 Mirzaei, et al
4 Berberian
5 non-reference site technique
6 Ghofran and Atkinson
7 Bindi et al.
8 Thabet
9 Vassallo et al.

۲۰۲۲). در این روش، طیف مؤلفه‌های شمالی–جنوبی و شرقی–غربی برای به دست آوردن طیف مؤلفه‌های افقی به روش ریشه دوم میانگین مجذور ادغام می‌شوند. سپس نسبت‌های طیفی بین مؤلفه‌های افقی و عمودی (H/V) محاسبه شده و درنهایت، نسبت H/V ساختگاه با محاسبه میانگین حسابی همه نسبت‌های طیفی محاسبه شده، برآورد می‌شود. در این تحقیق از اپلیکیشن MiTA محصول شرکت دانش‌بنیان "ایده تحقیق نوآوری کلور نوفه" برای برداشت داده‌های میکروترمور استفاده شده است. این اپلیکیشن از قابلیت سنسورهای حساس گوشی‌های هوشمند برای نوفه‌های محیطی استفاده می‌کند. برای کاهش اثر نوفه‌های گذرا مانند حرکت وسایل نقلیه، اندازه‌گیری‌ها در شب یا ساعات آرام روز انجام شد. همچنین برای حفاظت لرزه‌نگار از باد و کاهش اثر آن، دستگاه در زیر یک جعبه قرار داده شد. در مراحل برداشت داده‌ها، تمامی نکات ارائه شده در دستورالعمل برداشت نوفه‌های محیطی پروژه سیزمه[1] (۲۰۰۵) رعایت شد. به‌عنوان نمونه، تلاش گردید که ابزار روی خاک نرم، خاک اشباع از آب و همچنین بستر قلوه‌سنگی قرار نگیرد، ابزار همواره روی سطح هموار و افقی قرار داشته و باری نیز بر آن اعمال نشد. در تمامی برداشت‌ها سعی بر این بود که محل برداشت نوفه در نزدیکی بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و ماشین‌آلات ساختمانی، سازه‌های زیرزمینی مانند پارکینگ‌ها و غیره قرار نداشته باشد. برای پردازش داده‌ها از نرم‌افزار ژئوپسی[2] استفاده شده است (www.Geopsy.org). به این منظور در هر ایستگاه، سری زمانی به پنجره‌هایی با طول معین تقسیم می‌شود. سپس با اعمال فیلتر میان‌گذر، فرکانس‌های نامطلوب حذف می‌شوند (ولا و همکاران[3]، ۲۰۱۳).

برای حذف نوفه‌های گذرای ناشی از منابعی مانند راه رفتن انسان‌ها، ترافیک در معابر مجاور ایستگاه‌ها، ماشین‌آلات، فعالیت کارخانه‌ها و غیره از الگوریتم Anti-triggering روی نوفه فیلترشده استفاده شده است. سپس با حذف اثر نشت طیفی، هموارسازی و تعیین روند کلی تغییرات طیفی انجام می‌شود. به‌منظور محاسبه نسبت H/V، سری‌های زمانی با تابع کسینوس ۵ درصد پردازش شده‌اند. FFT برای هر جزء محاسبه شد و طیف‌ها با پنجره هانینگ[4] با پهنای باند ثابت در مقیاس فرکانس لگاریتمی هموار شده‌اند. تصحیح پاسخ ابزاری نیز انجام شده است. بر اساس این محاسبات، نسبت طیفی ناکامورا محاسبه و میانگین و انحراف معیار داده شده است.

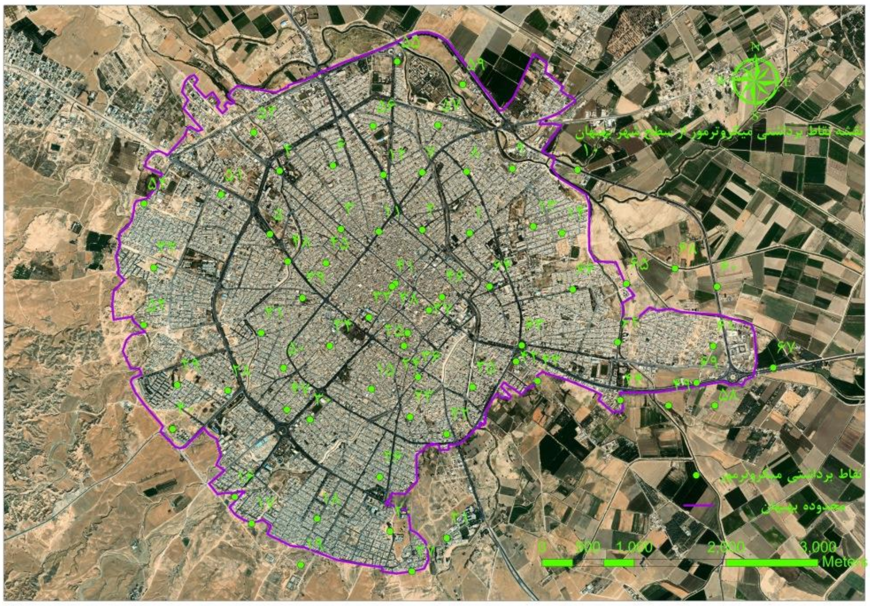
٤– داده‌ها و نتایج

در این تحقیق، در ۷۹ نقطه از شهر بهبهان نوفه‌های محیطی برداشت شد. شکل ۵ موقعیت ایستگاه‌های برداشت در سطح شهر را نشان می‌دهد. ایستگاه‌ها در فواصل تقریباً ۵۰۰ متری نسبت به یکدیگر روی پنج مقطع در امتداد تقریبی شمالی–جنوبی شهر قرار دارند. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری به‌گونه‌ای انتخاب شده است که کل محدوده

---

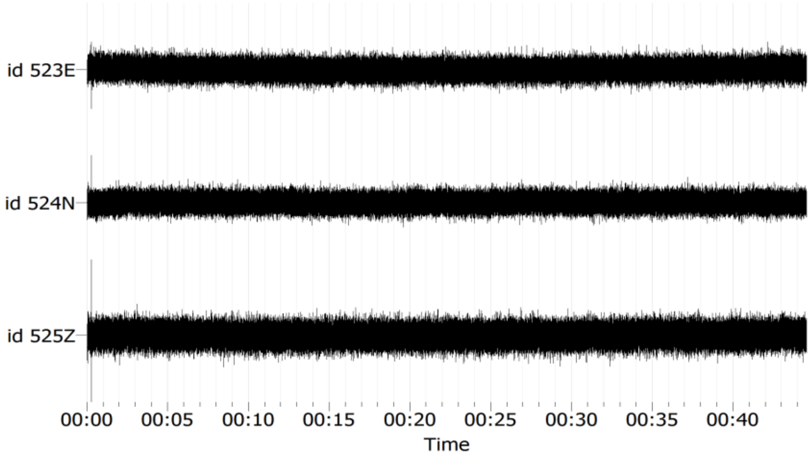
1 SESAME
2 geospy
3 Vella et al
4 Hanning window

ساخت‌وساز شهر را پوشش دهند. از ۷۹ نقطه برداشت شده، ۵ نقطه به دلیل مناسب نبودن برداشت‌ها و ۵ نقطه دیگر به دلیل اینکه در محدوده‌ی مسکونی شهر بهبهان نبودند، در محاسبات لحاظ نشده و پردازش بر روی ٦۹ نقطه باقیمانده صورت گرفته است. اطلاعات تکمیلی مربوط به داده‌های برداشت شده در جدول پ ۱ (در پیوست) ارائه شده است.

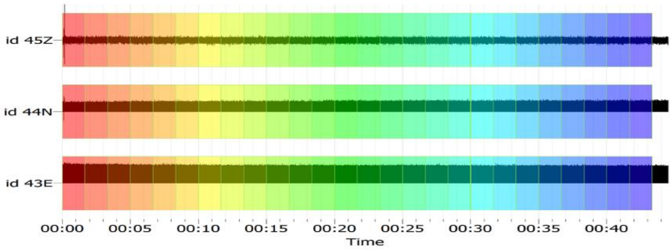


شکل ۳- توزیع نقاط برداشت شده برای محاسبات میکروترمور شهر بهبهان

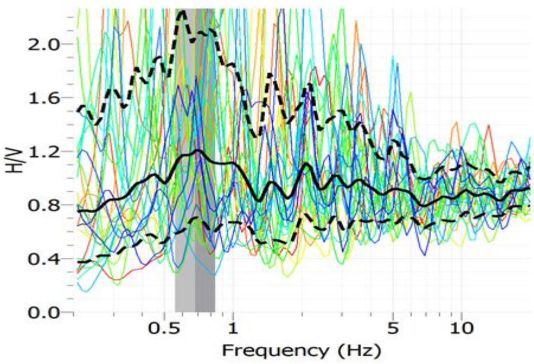
شکل ٤ نمونه‌ای از میکروترمورهای سه مؤلفه‌ای ثبت شده (در نقطه ٤۱) را که شامل مؤلفه‌های شرقی-غربی (E)، شمالی‌جنوبی (N) و قائم (Z) است، نشان می‌دهد. شکل ۵ نشان دهنده انتخاب پنجره‌های زمانی مناسب روی لرزه‌نگاشت سه مؤلفه‌ای در نقطه ٤۱ است. برای هر نقطه برداشت شده، سه منحنی H/V مشخص شد. به‌عنوان‌مثال برای نقطه شماره ٤۱، همان‌گونه که در شکل ٦ نشان داده شده است، خطوط سیاه‌رنگ منحنی‌های میانگین، ۱٦ درصد و ۸٤ درصد را نشان می‌دهد. بر اساس این اطلاعات، فرکانس طبیعی خاک در این ایستگاه بین ۰/۵ تا ۰/۸ برآورد می‌شود.



شکل ٤- نمونه‌ای از میکروترمورهای سه مؤلفه‌ای ثبت شده برای نقطه ٤١

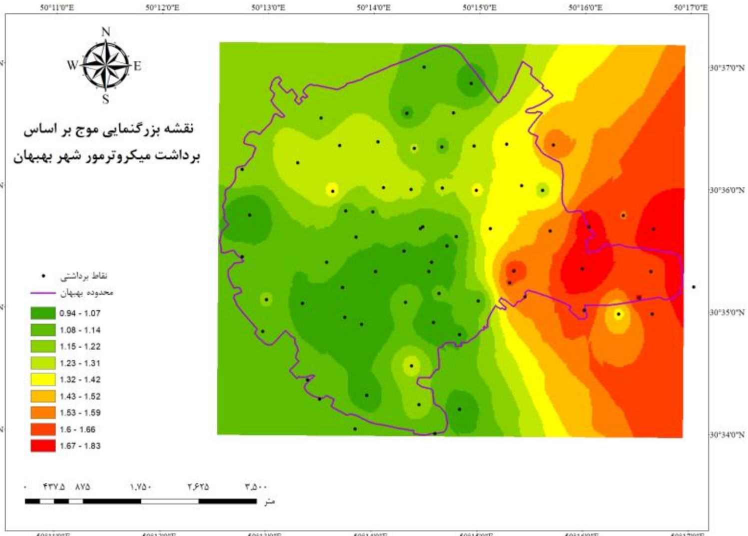


شکل ٥- انتخاب پنجره‌های زمانی مناسب روی لرزه‌نگاشت سه مؤلفه‌ای در نقطه ٤١



شکل ٦- نسبت طیفی مؤلفه‌های افقی به قائم (H/V) برای نقطه ٤١

این عملیات برای تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری تکرار و بر اساس آن نقشه‌های ماکزیمم دامنه H/V (نقشه بزرگنمایی موج)، فرکانس طبیعی خاک، خطوط منحنی میزان پریود غالب خاک تهیه شده و نوع خاک بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، محاسبه شده است. این نتایج به ترتیب در شکل‌های ۹ الی ۱۳ دیده می‌شود.



شکل ۷- نقشه بزرگنمایی موج بر اساس برداشت میکروترمور شهر بهبهان

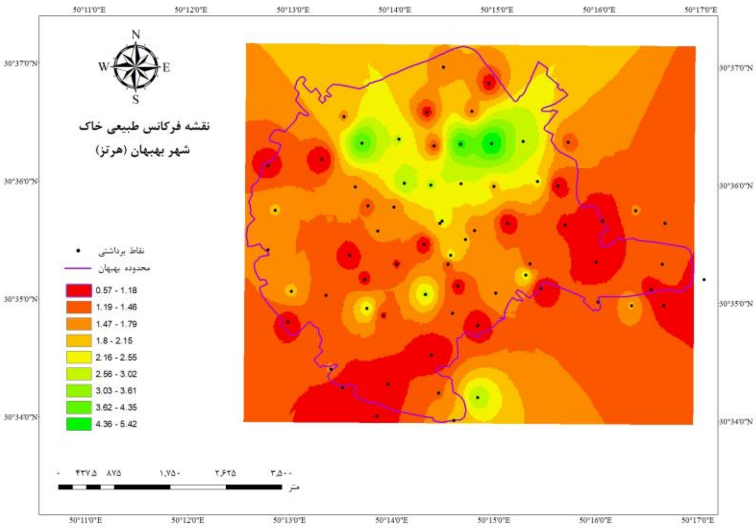
نقشه بزرگنمایی موج نشان می‌دهد که بخش شرقی شهر بزرگنمایی حدود ۲ برابری در امواج را نشان می‌دهد. تقویت حرکات لرزه‌ای عمدتاً در نهشته‌های آبرفتی رخ می‌دهد که ویژگی‌های آن‌ها (هندسه و سرعت موج) فرآیند تقویت را کنترل می‌کند (Semblat, et al., 2003). ممکن است پراکندگی موج قابل‌توجهی نیز در اطراف تغییرات شدید توپوگرافی مانند تاج‌ها یا شیب‌های تند تپه‌ها یافت شود. چنین پدیده‌هایی را اثرات توپوگرافی ساختگاه می‌نامند (Chávez-García, et al., 1996). تقویت امواج لرزه‌ای در حوضه‌های آبرفتی به‌طورکلی بزرگ‌تر از آن چیزی است که در مورد بی‌نظمی‌های توپوگرافی مشاهده و برآورد شده است. این پدیده‌ها می‌توانند حرکت لرزه‌ای حادثه را تقویت کرده و پیامدهای آن را بر سازه‌ها و ساختمان‌ها افزایش دهند.

ایستگاه اندازه‌گیری ٤۱ نقطه‌ای است که اطلاعات گمانه اکتشافی در فاصله کمتر از ۵ متر برای آن در دسترس است. گمانه‌زنی با ماشین حفاری به روش دورانی در خردادماه سال ۱۳۸۹ انجام شده است. بر اساس گزارش ژئوتکنیک، خاک دست‌خورده عمدتاً رسی و به میزان محدودی دانه‌ای است. عمق گمانه ۱۵ متر، عمق آب حدود ۵ متر و عمق خاک دست ریز ٤۰ سانتی‌متر گزارش شده است. اعداد SPT در جدول ۱ داده شده است. در جدول مقدار $\overline{N}_{1(60)} = 46.1$ است.

جدول ۱- اعداد SPT از گمانه اکتشافی (عمق ۱۵ متر)

عمق (متر)	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴
$SPT(\bar{N}_{1(60)})$	۴۵		۴۳	۵۰	۴۳	۵۰	۴۲	۵۰

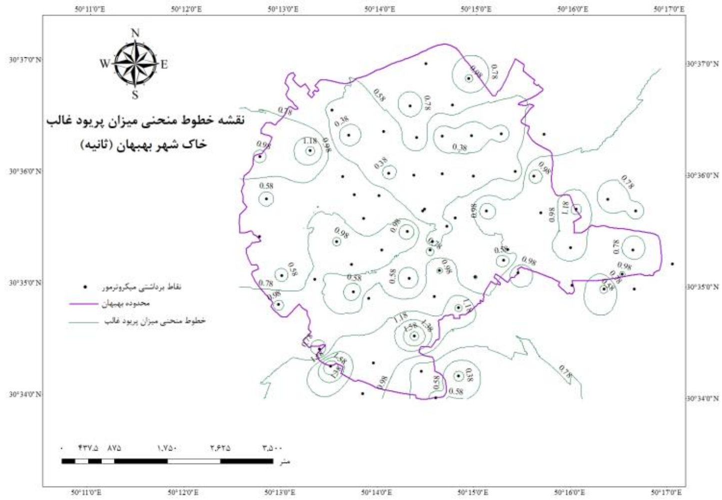
بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و مبحث ٦ مقررات ملی ساختمان، خاک نوع ۲ به‌صورت «خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل- شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به‌تدریج بهبود یابد یا سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده» و با $\bar{N}_{1(60)} > 50$ توصیف شده است (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۸).



شکل ۸- نقشه فرکانس طبیعی خاک شهر بهبهان (هرتز)

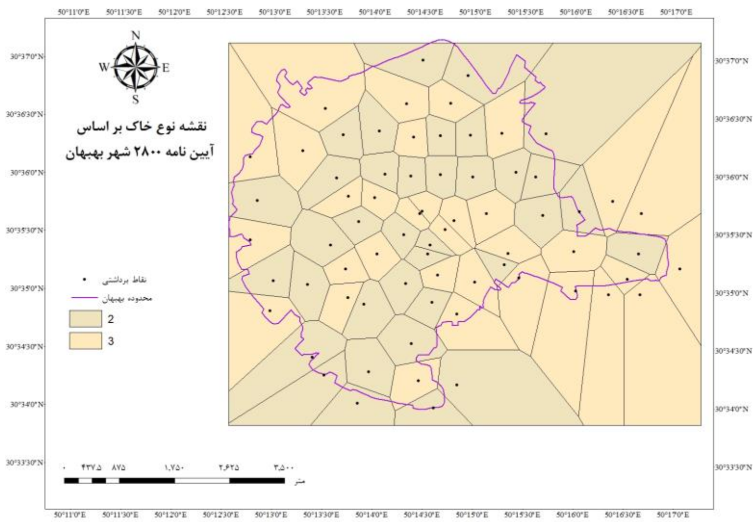
به‌این‌ترتیب نقطه موردنظر خواصی بین خاک ۲ و ۳ و نزدیک به خاک نوع ۲ دارد. بر اساس گزارش گمانه، خاک نوع ۲ است. بر این اساس، نتایج دو روش همخوانی مناسبی دارند.

نقشه فرکانس طبیعی خاک نشان می‌دهد که فرکانس طبیعی خاک در محدوده ۰/۵۷ تا ۵/۴۲ هرتز قرار دارد. هرچه فرکانس تشدید بیشتر باشد، عمق رسوبات بیشتر است. بر اساس نقشه بزرگنمایی موج، ضخامت رسوبات نرم در شرق شهر بهبهان نسبت به جنوب آن کمتر است.



شکل ۹- نقشه خطوط منحنی میزان پریود غالب خاک شهر بهبهان (ثانیه)

پریود غالب خاک نیز نشـــان می‌دهد که پریود طبیعی خاک بین ۰/۱۸ تا ۱/۷۵ ثانیه قرار دارد. با توجه به انتشـــار امواج زلزله از محیط خاک، تقویت یا تضـــعیف آن‌ها عمدتاً به پریود طبیعی رســـوبات بســـتگی دارد. پریود اصـــلی رسوبات به ضخامت، سختی و چگالی آن بستگی دارد. ازآنجایی‌که ویژگی‌های حرکت ورودی تا حد زیادی بر رفتار دینامیکی سازه‌ها تأثیر می‌گذارد، کمّی‌سازی آن‌ها مسئله‌ای ضروری در مهندسی زلزله است.



شکل ۱۰- نقشه نوع خاک به روش پلیگون بندی تیسن بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ شهر بهبهان

حال با مشخص شدن وضعیت خاک، بررسی اطلاعات ساختمانی می‌تواند مفید باشد. اطلاعات تهیه شده از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خوزستان شامل اطلاعات جمعیت، نوع اسکلت (فلزی، بتنی و سایر) و نوع مصالح (آجر و آهن، آجر و چوب، بلوک سیمانی، تمام آجر یا سنگ و آجر، تمام چوب، خشت و چوب، خشت و گل و سایر) که به‌صورت بلوکی می‌باشند، در این پروژه مورداستفاده قرار گرفته است. این اطلاعات به‌صورت خلاصه در جدول شماره ۲ و شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند. این اطلاعات در محیط GIS فراخوانی شده و پس از تصحیح و یکسان‌سازی سیستم‌های مختصات و سیستم تصویر، لایه‌های مختلف مورد نظر از این اطلاعات تهیه گردید.

جدول ۲- نوع اسکلت و مصالح بکار رفته در ساختمان‌های بافت قدیم شهر بهبهان

اسکلت			مصالح							
فولاد	بتن	سایر	آجر و آهن	آجر و چوب	بلوک سیمانی	تمام آجر یا سنگ و آجر	تمام چوب	خشت و چوب	خشت و گل	سایر
۳۰۴	۲۱۹	۱۷۸۴	۱۶۴۶	۸۵	۵۰	۴۳۳	۱	۹	۲۹	۵۴



شکل ۱۱- نقشه اسکلت ساختمان‌های بافت قدیم شهر بهبهان

اگر فرکانس ارتعاش زمین با فرکانس طبیعی ساختمان به هم نزدیک شوند، به علت بالا رفتن احتمال تشدید، ساختمان بیشترین دامنه نوسان و شدیدترین خسارت را تجربه خواهد کرد. از نقشه فرکانس طبیعی خاک و پریود غالب خاک شهر بهبهان می‌توان برای مشخص کردن تعداد طبقات مجاز ساختمان‌ها در نقشه‌های توسعه شهری استفاده نمود. نقشه نوع خاک بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، خاک‌های نوع دو و سه را برای شهر بهبهان نشان داده که قسمت‌های بیشتر شهر دارای خاک نوع دو می‌باشند.

درنهایت لازم به یادآوری است که روش کلاسیک برای ارزیابی خطر لرزه‌ای برای یک سازه سطحی شامل تشخیص مشخصه خطر لرزه‌ای و در مرحله دوم تجزیه‌وتحلیل آسیب‌پذیری سازه است (یاریان و کرمی، ۱۳۹۸). بااین‌حال، در شرایطی که کل منطقه شهری با خطر لرزه‌ای مواجه است، شبکه‌ای از سازه‌های سطحی ممکن است بر حرکت میدان آزاد تأثیر بگذارد. مشاهدات زلزله ۱۹۸۵ مکزیک نشان داد که ساختار شهر می‌تواند بر فرکانس ساختگاه مؤثر باشد. این پدیده که شامل تعامل بین شهر و حوضه رسوبی است، تعامل ساختگاه-شهر (SCI) نامیده می‌شود (خام و همکاران[1]، ۲۰۰۳). در این تحقیق، به‌طور طبیعی این مسئله در اندازه‌گیری‌ها لحاظ شده است.

۵- نتیجه‌گیری

تعیین فرکانس طبیعی خاک با استفاده از میکروترمورها روشی تأیید شده و کم‌هزینه است. نسبت مؤلفه افقی (H) و عمودی (V) میکروترمور اثرات منبع را حذف می‌کند و اثرات ناشی از مسیر موج را افزایش می‌دهد. اساساً نسبت H/V با گذشت زمان در همان محل بدون تغییر باقی می‌ماند و تخمین خوبی از فرکانس اساسی زیر خاک نرم ارائه می‌کند. وجود حداکثر دامنه در فرکانس خاص در منحنی H/V نشان‌دهنده وجود یک لایه سفت است که عمق آن را می‌توان با دانستن V_s لایه‌های رسوبی فوقانی ارزیابی کرد. تغییرات فضایی فرکانس حداکثر H/V با ناهمگنی‌های جانبی ساختار رسوبی مرتبط است. در این مقاله با استفاده از برداشت میکروترمور وضعیت خاک محلی شهر بهبهان تعیین شده است. فرکانس طبیعی خاک در محدوده ۰/۵۷ تا ۵/٤۲ هرتز و پریود طبیعی خاک بین ۰/۱۸ تا ۱/۷۵ ثانیه قرار دارد. بر این اساس، خاک مناطق مختلف شهر متشکل از خاک‌های نوع ۲ و نوع ۳ است. در مناطق مرکزی، جنس خاک عمدتاً از نوع ۳ می‌باشد که با توجه ما قبل آیین‌نامه بودن ساخت اغلب ساختمان‌ها در این منطقه، نیاز به توجه دارد. البته با توجه به کوتاه مرتبه بودن اغلب ساختمان‌ها در این منطقه، احتمال تشدید لحظه‌ای منتفی است. در شمال غرب و جنوب شرق شهر، پریود تشدید خاک بالای یک ثانیه است؛ بنابراین در ساخت ساختمان‌های بلند در این مناطق باید تمهیدات لازم را به‌منظور جلوگیری از بروز تشدید در سازه‌های آن‌ها لحاظ کرد. همچنین، بزرگنمایی موج در بخش شرقی شهر حدود ۲ برابر بخش غربی بوده و این مسئله در توسعه ساختار شهری باید موردتوجه قرار گیرد.

1 Kham, et al.

سپاسگزاری

بخشـی از این پژوهش با حمایت شـرکت پالایش گاز بیدبلند انجام شـده اسـت. کلیه پردازش‌ها با اسـتفاده از امکلنات مرکز پایش، ارزیابی و پیش‌بینی بحران‌های ناشـی از بلایای طبیعی (MAP Center) دانشـگاه صـنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان صورت گرفته است؛ ازاین‌رو نهایت سپاس خود را از ایشان اعلام می‌داریم. ضمناً کلیه نقشه‌های تهیه شده در سایت مرکز به آدرس khrisk.ir قابل‌دسترسی است.

کتابنامه

ادیب، احمد؛ ۱۳۹۵. طبقه‌بندی سـاختگاه بر مبنای فرکانس طبیعی مبتنی بر داده‌های لرزه‌ای و پیشـنهاد اسـتفاده از آن در آئین نامه طرح سـاختمانها در برابر زلزله ایران، مطالعه موردی شـهر اردکان. *فیزیک زمین و فضا*، (۱)٤۲، ۷۵–۸۸. https://doi.org/ 10.22059/jesphys.2016.54998

حکیمی، بهشـته؛ معصـومی، زهره؛ قدس، عبدالرضـا؛ اعتماد سـعید، نجمه؛ ۱۳۹۷. مطالعه اثر سـاختگاه مبتنی بر **HVSR**مایکروترمور در شـهر زنجان (ایران). *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۲(٤)، ۱۱۵–۱۳۹https://www.ijgeophysics.ir/article_82770.html.

صفاری، امیر؛ کیانی، سارا؛ عباس زاده، امیرعلی؛ ۱٤۰۱. پتانسیل سنجی مناطق آسیب پذیر در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر رودهن). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73710.1249

فلاحی، عبدالحسین؛ سمائی، مقداد؛ کارشی، جعفر؛ ۱۳۹۸. تعیین فرکانس غالب و طبقه‌بندی ساختگاه در تعدادی از ایستگاه‌های شتابنگاری شمال‌غرب ایران، با استفاده از اندازه‌گیری میکروتریمورها. *فصلنامه علمی علوم زمین*، ۲۸(۱۱۲)، ۲۱۷–۲۲٦https:// doi: 10.22071/gsj.2018.94986.1218

لامعی، مجید؛ عشایری، ایمان؛ بیگلری، مهنوش؛ کدیور، محمدامین؛ ۱۳۹٤. شناسایی سیستم دینامیکی خاک–سازه با استفاده از آزمایش ارتعاش محیطی (مطالعه موردی: پایه مسیر روزمینی قطار شهری کرمانشاه)، فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، ۲(۳)، ۱–۱۳http://www.bese.ir/article_240271.html

محمدیان، میلاد؛ ۱۳۹۹. تحلیل خطر احتمالی ریسک محور زمین‌لرزه بندر سیراف. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، *۹(۲)، ۸۲–٦۱* https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.85303 .

یاریان، پیمان؛ کرمی، محمدرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و عدم قطعیت آسیب‌پذیری شهرها ناشی از زلزله با مدل **FAHP** (نمونه موردی: شهر سنندج). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، *۸(۳)، ۱۸۵–۲۰۳* . https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.81921

Berberian, M., 1981. Active faulting and tectonics of Iran: in: Zagros-Hindukush-Himalaya Geodynamic evolution, Gupta, H. K. and Delany, F. M. (eds.), Am. Geophys. Union and Geol. Soc. Am., Geodyn. Ser.,3, 33-69.https://doi.org/10.1029/GD003p0033

Bindi, D., Parolai, S., Spallarossa, D. and Cattaneo, M., 2000. Site effects by H/V ratio: comparison of two di_erent procedures," J. Earthq. Engrg. 4, 97{113.https://doi.org/ 10.1080/ 13632460009350364

Borcherdt, R. D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. Bulletin of the Seismological Society of America, 60(1), 29-61.https://doi.org/ 10.1785/ BSSA0600010029

Chávez-García, F. J., Sánchez, L. R., & Hatzfeld, D., 1996. Topographic site effects and HVSR. A comparison between observations and theory. Bulletin of the Seismological Society of America, 86(5), 1559-1573.https://doi.org/10.1785/BSSA0860051559

European Commission., 2005), User guideline for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration: Measurement,processing and interpretation, Res. Gen. Dir. Proj. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, Rep. D23.12, 62 pp., Brussels. http://SESAME-fp5.obs.ujf-grenoble.fr

Ghofrani, H., & Atkinson, G. M., 2014. Site condition evaluation using horizontal-to-vertical response spectral ratios of earthquakes in the NGA-West 2 and Japanese databases. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 67, 30-43. https://doi.org/10.1016/ j.soildyn. 2014.08.015

Kanai K. The requisite conditions for the predominant vibration of ground. Bull Earthquake Res Inst 1957;35:457–70. https://www.semanticscholar.org/paper/ 4bddbee33f3ab6f9 bf8a0b1 d7b197 1c8b63b6e6d

Kawase, H., Nagashima, F., Nakano, K., & Mori, Y., 2019. Direct evaluation of S-wave amplification factors from microtremor H/V ratios: Double empirical corrections to “Nakamura” method. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 126, 105067.https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.01.049

Kham, M., Semblat, J. F., Bard, P. Y., & Gueguen, P., 2003, April. Seismic interaction between a building network and a sedimentary basin. In EGS-AGU-EUG Joint Assembly (p. 3679.https://www.researchgate.net/publication/235623210

Komak Panah, A., Hafezi Moghaddas, N., Ghayamghamian, M., Motosaka, M., Jafari, M., & Uromieh, A., 2002. Site Effect Classification in East-Central of Iran. Journal of Seismology and Earthquake Engineering, 4(1), 37-46.http://www.jsee.ir/article_240468.html

Langston, C. A., 1977. The effect of planar dipping structure on source and receiver responses for constant ray parameter. Bulletin of the Seismological Society of America, 67(4), 1029-1050.https://doi.org/10.1785/BSSA0670041029

Lermo, J., & Chávez-García, F. J. 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. Bulletin of the seismological society of America, 83(5), 1574-1594.Lermo, J., & Chávez-García, F. J., 1994. Are microtremors useful in site response evaluation?. Bulletin of the seismological society of America, 84(5), 1350-1364. https://doi.org/ 10.1785/ BSSA0840051350

Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y. T., 1998), Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. J. Earthquake prediction Research, 7, 465-495.Nakamura, Yutaka., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports 30.1. https://www.researchgate.net/ profile/ Noorbakhsh-Mirzaei/ publication/ 290796328_

Nakamura, Y., Sato, T., & Nishinaga, M., 2000, November. Local site effect of Kobe based on microtremor measurement. In Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI, Palm Springs California. https://citeseerx.ist.psu.edu/ document?repid= rep1&type=pdf&doi= 4b1a8cc5872deefd1582cab13bd66149352bacff

Nowroozi AA., 1976. Seismotectonic provinces of Iran. Bull Seismol Soc Am 66:1249–1276

Pap, Z. B., & Kollár, L. P., 2018. Effect of resonance in soil-structure interaction for finite soil layers. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 62(3), 676-684. https:// doi.org/ 10.3311/ PPci.11960

Rosenblueth, E., & Meli, R., 1986. The 1985 mexico earthquake. Concrete international, 8(5), 23-34. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1433-9_5

Semblat, J. F., Duval, A. M., & Dangla, P., 2003. Modal superposition method for the analysis of seismic-wave amplification. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(3), 1144-1153. https://doi.org/10.1785/0120000087

Sezawa K., 1930. Possibility of the free—oscillations of the surface layer excited by the seismic waves. Bull Earthquake Res Inst;13:1–12. https://doi.org/10.1016/S0074-6142(05)80005-1

Thabet, M., 2019. Site-specific relationships between bedrock depth and HVSR fundamental resonance frequency using KiK-NET data from Japan. Pure and Applied Geophysics, 176(11), 4809-4831. https://doi.org/10.1007/s00024-019-02256-7

Vassallo, M., Cultrera, G., Di Giulio, G., Cara, F., & Milana, G., 2022. Peak frequency changes from HV spectral ratios in Central Italy: Effects of strong motions and seasonality over 12 years of observations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, e2021JB023848. https://doi.org/10.1029/2021JB023848

Vella, A., Galea, P., & D'Amico, S., 2013. Site frequency response characterisation of the Maltese islands based on ambient noise H/V ratios. Engineering geology, 163, 89-100. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.06.006

Zafarani, H., Ghafoori, S. M. M., Adlparvar, M. R., Rajaeian, P., & Hasankhani, A., 2015. Application of time-and magnitude-predictable model for long-term earthquake prediction in Iran. Natural Hazards, 78(1), 155-178.https://doi.org/10.1016/0031-9201(94)90068-X

پیوست

جدول پ ۱: اطلاعات مربوط به داده‌های برداشت شده در ایستگاه‌ها

Point	Date & Time	latitude	longitude	Frequency (Hz)	Amplitude	Duration (min)	Complete
1	2021-02-20	30.5997286	50.2496739	2.08	1.32	30	Y
2	2021-02-20	30.6000216	50.2443011	2.53	1.23	30	Y
3	2021-02-20	30.6000345	50.2350836	3.06	1.31	30	Y
4	2021-02-20	30.6056954	50.2281031	4.25	1.26	30	Y
5	2021-02-20	30.5995002	50.2270648	1.6	1.34	30	Y
6	2021-02-20	30.6062655	50.2341461	2.57	1.27	30	Y
7	2021-02-20	30.6056416	50.2442474	4.55	1.12	30	Y
8	2021-02-21	30.6057487	50.2492787	5.43	1.25	30	Y
9	2021-02-21	30.6060651	50.2544468	3	1.38	30	Y
10	2021-02-21	30.6059953	50.2618252	1.39	1.58	30	Y
11	2021-02-21	30.5998144	50.2393797	2.59	1.25	30	Y
12	2021-02-21	30.6053791	50.2398556	1.28	1.22	30	Y
13	2021-02-21	30.6004246	50.2568612	2.23	1.34	30	Y
14	2021-02-21	30.5997946	50.2601216	0.94	1.27	30	Y
15	2021-02-23	30.5843876	50.2386658	0.88	1.12	45	Y
16	2021-02-24	30.5737228	50.2232802	0.54	1.14	45	Y
17	2021-02-25	30.5711262	50.2252114	0.57	1.09	45	Y
18	2021-02-26	30.5716521	50.2326143	0.91	1.02	45	Y
19	2021-02-26	30.5671084	50.2308065	1	1.13	45	Y
20	2021-02-26	30.5704558	50.2408916	0.72	1.04	45	Y
21	2021-02-26	_	_	1.8	1.1	38	N
22	2021-02-26	30.5698335	50.2472913	0.49	1.25	45	Y
23	2021-02-26	30.5800204	50.2472109	0.25	1	45	Y
24	2021-02-26	30.5816782	50.2430481	0.66	1	45	Y
25	2021-02-26	30.5886338	50.2423118	0.66	1.12	46	Y
26	2021-02-26	30.5898945	50.2427086	0.69	1.05	45	Y
27	2021-02-27	30.5757666	50.2396685	0.61	1.26	45	Y
28	2021-02-27	30.5665451	50.2433865	0.69	1.24	45	Y
29	2021-02-28	_	_	_	_	0	N
30	2021-02-28	30.5841351	50.2224112	0.52	1.03	45	Y
31	2021-02-28	30.58465	50.2166766	1.86	1.15	45	Y
32	2021-03-01	30.5813509	50.2317452	0.69	0.96	45	Y
33	2021-03-01	30.5897999	50.2261394	0.86	1.23	45	Y
34	2021-03-01	30.5961245	50.2139352	0.7	0.96	45	Y
35	2021-03-02	30.5913985	50.2383323	0.85	1.06	45	Y
36	2021-03-02	30.5885875	50.2339071	0.66	0.93	45	Y
37	2021-03-03	30.5846447	50.2501184	0.78	1.04	45	Y

Point	Date & Time	latitude	longitude	Frequency (Hz)	Amplitude	Duration (min)	Complete
38	2021-03-03	30.5855977	50.2439218	0.61	1.04	45	Y
39	2021-03-04	30.5921549	50.2451295	0.88	1	45	Y
40	2021-03-04	30.5947353	50.2413067	2.38	1.09	45	Y
41	2021-03-05	30.4942059	50.2160382	0.54	1.14	45	Y
42	2021-03-06	30.5932541	50.2307908	0.58	1.05	45	Y
43	2021-03-06	30.5803384	50.21619	0.63	1.17	45	Y
44	2021-03-06	30.5944449	50.2409186	0.68	1.2	45	Y
45	2021-03-07	30.587182	50.2550059	2.35	1.6	45	Y
46	2021-03-07	30.5852737	50.2574559	0.86	1.58	45	Y
47	2021-03-07	30.5834557	50.2668426	1.24	1.62	45	Y
48	2021-03-07	30.5966928	50.233413	1.54	1.13	45	Y
49	2021-03-07	30.5934385	50.2465885	0.67	1.16	45	Y
50	2021-03-07	30.5823128	50.2291108	0.62	1.07	45	Y
51	2021-03-08	_	_	1.49	1.16	16	N
52	2021-03-08	_	_	2.88	1.15	8	N
53	2021-03-08	30.5968305	50.2290985	1.35	1.1	45	Y
54	2021-03-08	_	_	1.66	1.1	43	N
55	2021-03-08	30.5829676	50.2723063	1.82	1.39	45	Y
56	2021-03-08	30.586389	50.2286955	0.74	1.03	45	Y
57	2021-03-10	30.6033311	50.2214883	0.82	1.3	45	Y
58	2021-03-10	30.5904881	50.2128097	0.34	1.08	45	Y
59	2021-03-11	30.6121801	50.2042794	0.68	1.14	45	Y
60	2021-03-11	30.6094498	50.2251417	0.47	1.13	45	Y
61	2021-03-11	30.602401	50.2127713	0.41	1.2	45	Y
62	2021-03-12	30.6164879	50.2413363	0.87	1.15	45	Y
63	2021-03-12	30.6101577	50.2386546	1.05	1.05	45	Y
64	2021-03-13	30.610281	50.2459826	1.53	1.14	45	Y
65	2021-03-13	30.5829904	50.2775472	1.05	1.6	45	Y
66	2021-03-13	30.6142898	50.2487617	1	0.99	45	Y
67	2021-03-13	30.5946364	50.2777139	1.3	1.72	45	Y
68	2021-03-14	30.5888125	50.2773165	1.43	1.64	45	Y
69	2021-03-14	30.5891309	50.2665106	0.91	1.83	45	Y
70	2021-03-15	30.5887645	50.2556479	1.19	1.66	45	Y
71	2021-03-15	30.5945158	50.2519527	0.91	1.38	45	Y
72	2021-03-15	30.5948718	50.2674538	0.82	1.71	45	Y
73	2021-03-15	30.5942707	50.2613816	1.14	1.54	45	Y
74	2021-03-15	30.5867399	50.2841309	0.98	1.81	45	Y
75	2021-03-15	30.5963976	50.2729249	1.49	1.59	45	Y
76	2021-03-17	30.5852143	50.2754628	1.01	1.66	45	Y
77	2021-03-21	30.6839884	50.2829819	2.29	1.1	45	Y
78	2021-03-22	30.668512	50.3469568	1.44	1.05	45	Y